

第 68 回

原子炉主任技術者試験（筆記試験）

原子炉の運転制御

6問中5問を選択して解答すること。（各問20点：100点満点）

（注意）（イ） 解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。

（指示がない限り問題を写し取る必要はない。）

（ロ） 1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

（ハ） 第1問については、6項目中5項目を選択して解答すること。

令和8年3月17日

第1問 以下の(1)～(6)の中から5項目を選択し、用語について説明せよ。なお、6項目全てを解答した場合は、全ての解答を無効とする。

- (1) 事象ベースの事故時手順書、安全機能ベースの事故時手順書
- (2) 設計想定事象
- (3) Q Cサークル活動
- (4) M T B F (Mean Time Between Failures)、M T T F (Mean Time To Failure)
- (5) 中央制御室外原子炉停止装置
- (6) L B B (漏えい先行型破損)、ギロチン破断、レストレイント

第2問 熱中性子炉でのキセノンに関する以下の問いに答えよ。

- (1) キセノンは大きな吸収断面積を有し、原子炉の反応度制御上重要な核種である。原子炉におけるキセノンの生成、消滅はどのような反応で生じるか説明せよ。
- (2) 仮想的に、原子炉がある出力で長期間運転した後、瞬時に出力を上昇させその後出力を保持したとする。この時、原子炉内のキセノンの量は時間とともにどのように変化するか説明せよ。
- (3) 平衡状態でのキセノンの反応度は原子炉の出力の大小によりどのように変化するか説明せよ。
- (4) 100%出力で運転していた原子炉が自動停止した。自動停止後のキセノンの挙動について説明し、原子炉の運転上どのようなことが問題となるか併せて説明せよ。
- (5) キセノンの存在により加圧水型軽水炉の減速材温度係数はどのような影響を受けるか説明せよ。

第3問 強度 S_0 [個/s]の中性子源を炉内に有し、未臨界定常状態にある原子炉を考える。中性子源の吸収断面積は無視する。

(1) この原子炉にステップ状の正の反応度を以下のように加えるとする。

- (a) 反応度投入後も原子炉が未臨界の場合 ($k_{\text{eff}} < 1.0$)、
- (b) 反応度投入の結果、原子炉がちょうど臨界 ($k_{\text{eff}} = 1.0$) になった場合、
- (c) 反応度投入の結果、原子炉が超臨界 ($k_{\text{eff}} > 1.0$ 。ただし、この時の k_{eff} の値は 1.0 の近傍とする。) になった場合、

上記の3つの場合について、中性子密度の変化の概要を1つの図に比較して示し、そのように変化する理由を簡単に説明せよ。なお、原子炉の温度変化はなく反応度フィードバック効果は無視できるとする。

(2) 上記において、印加反応度が小さく、反応度投入後も原子炉が未臨界にある場合を考える。投入反応度の量が同じでも反応度投入後の未臨界度が小さいほど(臨界に近いほど)、中性子密度の増加分は大きくなる。このことを以下の遅発中性子1群の1点炉動特性方程式より導き、説明せよ。

$$\begin{cases} \frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} n + \lambda C + S_0 \\ \frac{dC}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} n - \lambda C \end{cases}$$

ここで、

- n : 中性子密度
- C : 遅発中性子先行核密度
- S_0 : 中性子源強度
- ρ : 反応度
- β : 遅発中性子割合
- Λ : 即発中性子生成時間
- λ : 遅発中性子先行核崩壊定数

第4問 原子炉プラントのプロセス計装について、(1) 温度 および (2) 流量 の測定に用いられる計測機器をそれぞれ2つ挙げ、各機器の測定原理について説明せよ。なお、3つ以上解答した場合は、全ての解答を無効とする。

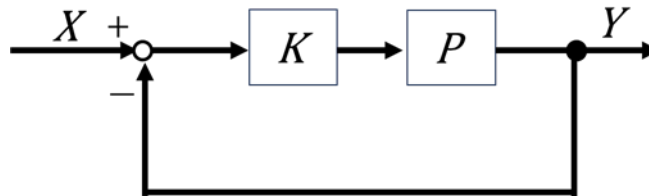
第5問 次式の伝達関数 $P(s)$ で表されるシステムについて、以下の問いに答えよ。

$$P(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 2}$$

ここで、 $P(s) = Y_1(s)/X_1(s)$ であり、 s はラプラス演算子、 $X_1(s)$ は入力 $x_1(t)$ のラプラス変換、 $Y_1(s)$ は出力 $y_1(t)$ のラプラス変換である。

- (1) $P(s)$ の系の極を求め、系が安定であるかを判別せよ。

次に、この制御対象 $P(s)$ を含む、下図のようなフィードバック系を考える。ここで、伝達関数 $K(s) = 2/(s + 1)$ である。 $X(s)$ は入力 $x(t)$ のラプラス変換、 $Y(s)$ は出力 $y(t)$ のラプラス変換である。



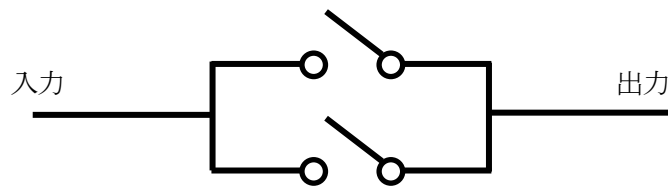
- (2) このフィードバック系が安定であるかを判別せよ。
- (3) 閉ループ伝達関数 $G_c(s)$ を求めよ。
- (4) このフィードバック系に対して、単位ステップ入力を与えたときの定常出力 $y(\infty)$ を求めよ。

第6問 原子炉施設では、機器の信頼度や故障率に留意して、システムの設計等を実施する必要がある。以下の問いに答えよ。ここで、各スイッチが、閉路信号により、閉じる信頼度は0.90とする。また、誤作動により、無信号で回路が閉じてしまう非信頼度を0.10とする。

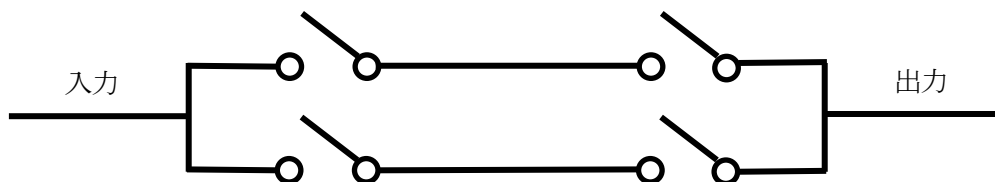
- (1) 以下に示すように、スイッチを直列に配置した回路について、閉路信号により、回路が閉じる信頼度について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。また、誤作動により、無信号で回路が閉じる故障率について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。



- (2) 以下に示すように、スイッチを並列に配置した回路について、閉路信号により、回路が閉じる信頼度について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。また、誤作動により、無信号で回路が閉じる故障率について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。



- (3) 以下に示すように、スイッチを直並列に配置した回路について、閉路信号により、回路が閉じる信頼度について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。また、誤作動により、無信号で回路が閉じる故障率について、計算式を記述し、必要に応じて四捨五入して、有効数字2桁で求めよ。



- (4) スwitchを直並列に配置し、① 2 out of 3、② 1 out of 2 twice、③ 2 out of 4 のロジックを構築した場合に、①～③について、A：閉路信号により、回路が閉じる信頼度が高い順番に、B：誤作動により、回路が閉じる故障率が低い順番に並べよ。